


第十三章

热力学基础



主要内容:

§13-1 准静态过程 功 热量

§13-2 热力学第一定律 内能

§13-3 理想气体的等体过程和等压过程 摩尔热容

§13-4 理想气体的等温过程和绝热过程

§13-5 循环过程 卡诺循环

§13-6 热力学第二定律的表述 卡诺定理

§13-7 熵 熵增加原理

§13-8 热力学第二定律的统计意义

热一律 $Q = \Delta E + W$ $dQ = dE + dW = dE + p dV$ 上节回顾

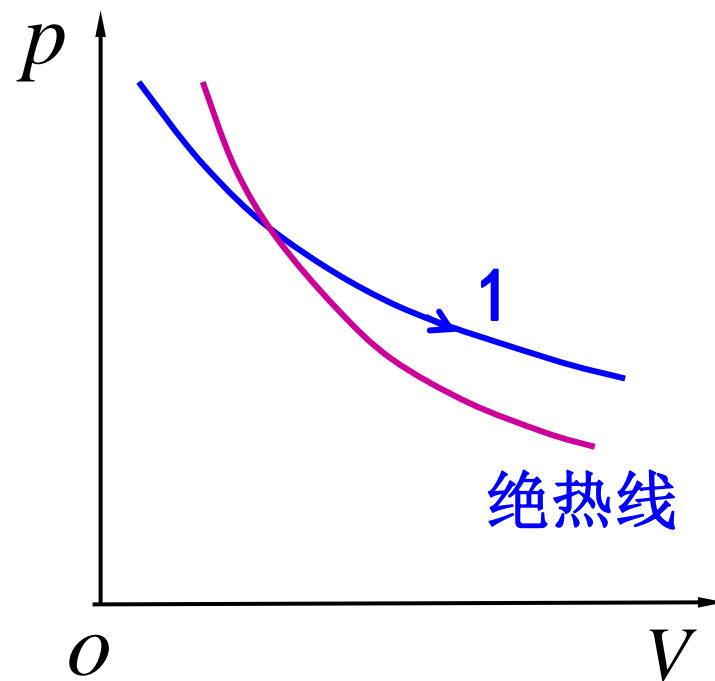
$$\Delta E = \nu \frac{i}{2} R \Delta T \quad \text{状态量}$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad Q = \nu C_m \Delta T \quad \text{过程量}$$

过程	特征	过程方程	W	ΔE	Q	C_m
等体	$dV = 0$	$pT^{-1} = C$	0	$\nu C_{V,m} \Delta T$	ΔE	$\frac{i}{2} R$
等压	$dp = 0$	$VT^{-1} = C$	$\frac{p \Delta V}{\nu R \Delta T}$	$\nu C_{V,m} \Delta T$	$\nu C_{p,m} \Delta T$	$\frac{i+2}{2} R$
等温	$dT = 0$	$pV = C$	$\nu R T \ln \frac{V_2}{V_1}$	0	W	∞
绝热	$dQ = 0$	$pV^\gamma = C$ $V^{\gamma-1} T = C'$ $p^{\gamma-1} T^{-\gamma} = C''$	$-\nu C_{V,m} \Delta T$ $\frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1}$	$\nu C_{V,m} \Delta T$	0	0

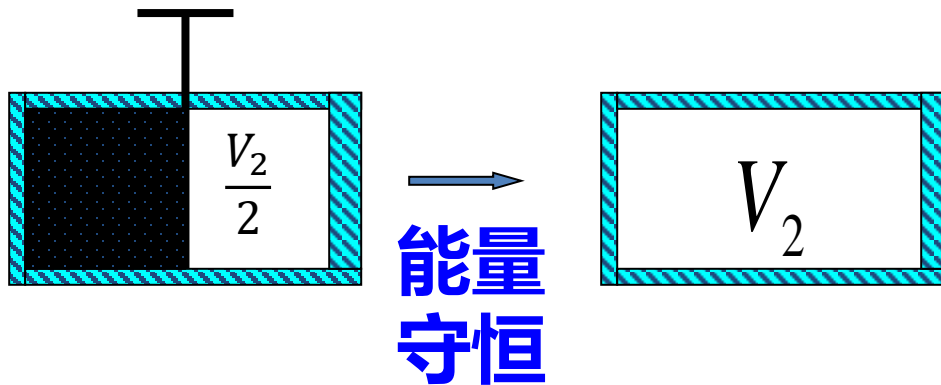
思考：

过程1吸热还是放热？

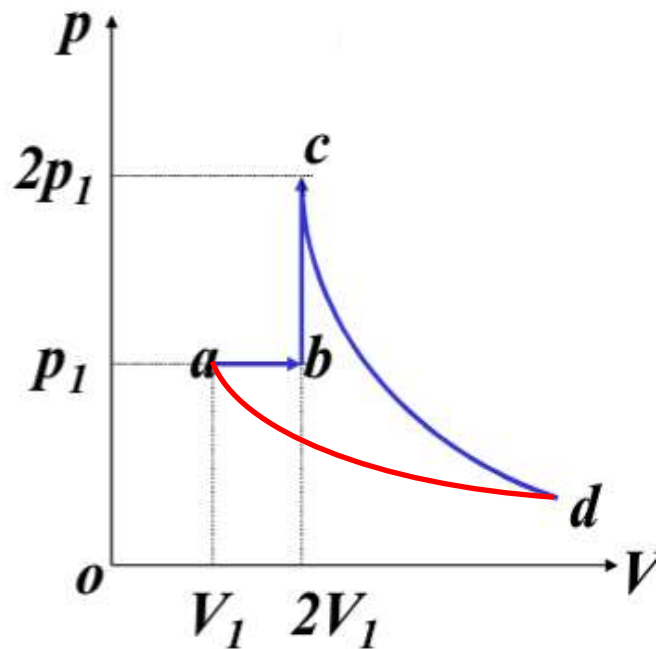


思考：绝热自由膨胀

自由膨胀



例1： 1mol单原子理想气体,由状态a(p_1, V_1),先等压加热至体积增大1倍至状态b,再等体加热至压强增大1倍至状态c,最后再经绝热膨胀至状态d,使其温度降至初始始温度,请做出状态变化的P-V图,并求解： 1. 状态d的体积； 2.整个过程中对外所做的功； 3.整个过程吸收的热量.



§13-5 循环过程 卡诺循环

一 循环过程

1. 循环过程：系统从某一状态出发，经过一系列状态变化过程之后，又回到初始状态的过程。

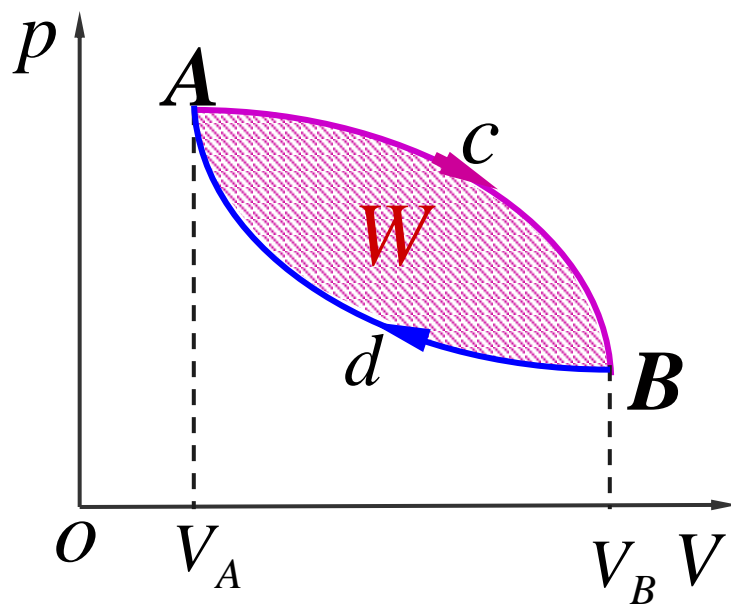
若循环的各阶段都是准静态过程，则循环过程可用 p - V 图上的一条闭合曲线表示。

循环过程的特征： $\Delta E = 0$

曲线所包围的面积等于一个循环过程中系统做功的大小。

沿顺时针方向进行的循环称为**正循环**。 $W > 0$ 吸热

沿逆时针方向进行的循环称为**逆循环**。 $W < 0$ 放热

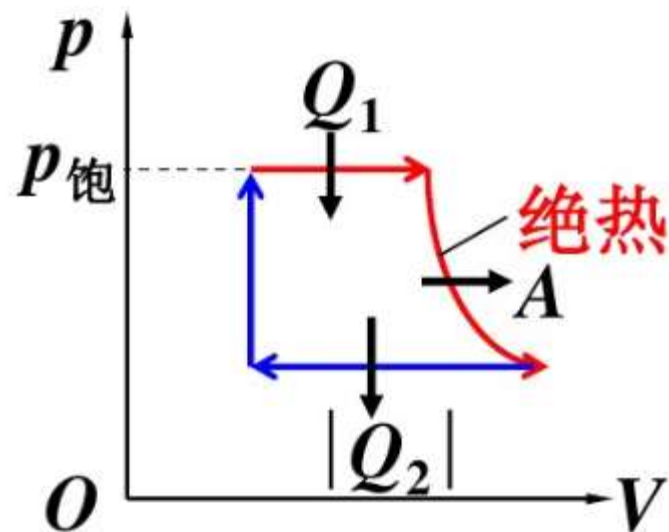
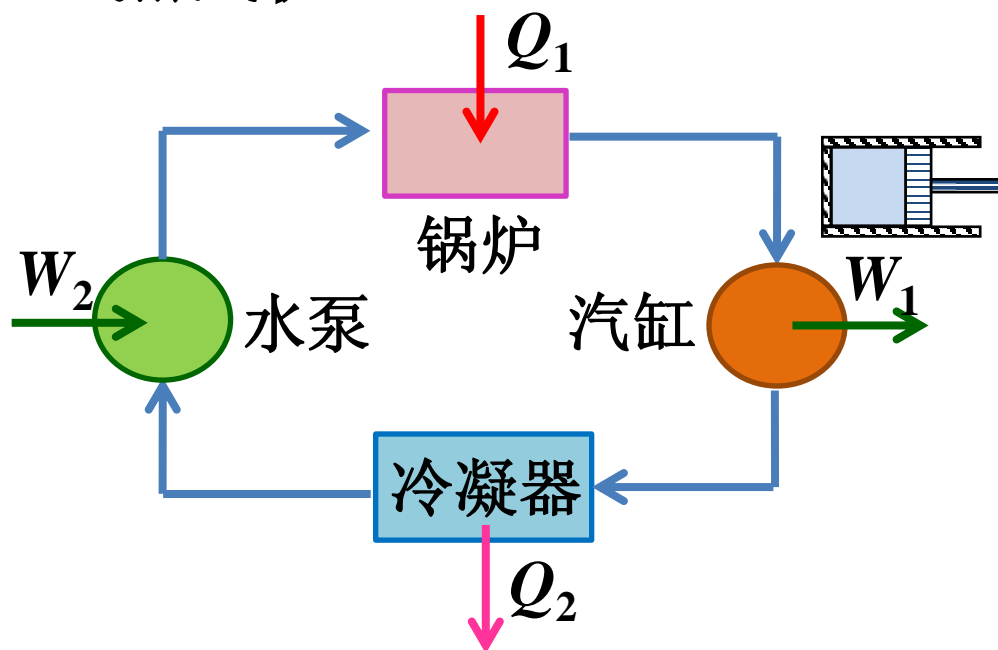


2. 热机和制冷机

工作物质（工质）：循环工作的物质系统。 气体、液体

1) 热机：利用工质做功把热能转变成机械能的装置。
热机进行的循环是正循环，可以获得净功。

蒸汽机



2) 热机效率

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

总吸热 $\longrightarrow Q_1$

总放热 $\longrightarrow Q_2$ (取绝对值)

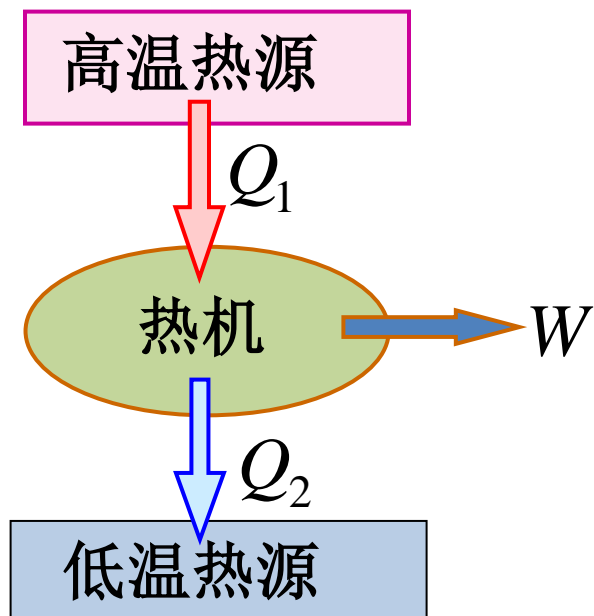
净吸热 $\longrightarrow Q$

由热力学第一定律 $Q = W$

净功 $W = Q_1 - Q_2 = Q$

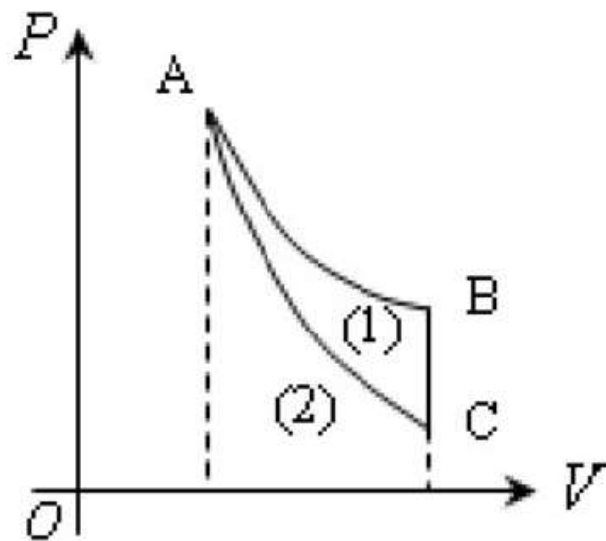
热机效率

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$



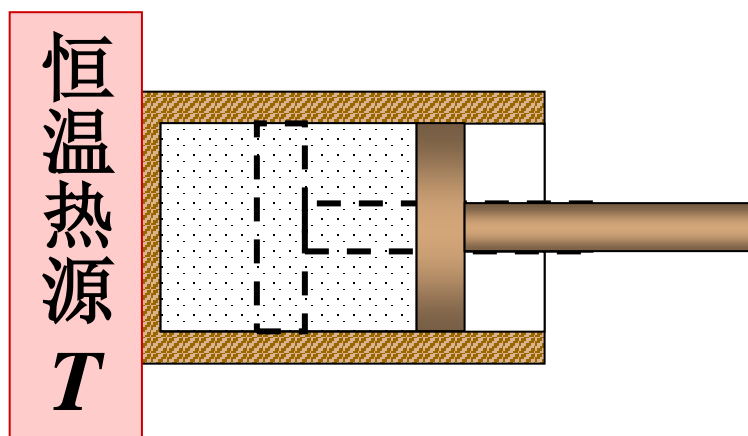
例1.一理想气体经过一循环过程ABCA，如图所示，AB为等温过程，BC是等体过程，CA是绝热过程，则该循环效率可用下列面积之比来表示

- (A) $\eta = \frac{\text{面积}(1)}{\text{面积}(2)}$
- (B) $\eta = \frac{\text{面积}(1)}{\text{面积}(1) + \text{面积}(2)}$
- (C) $\eta = \frac{\text{面积}(1)}{\text{面积}(1) - \text{面积}(2)}$
- (D) 不能用面积表示



[B]

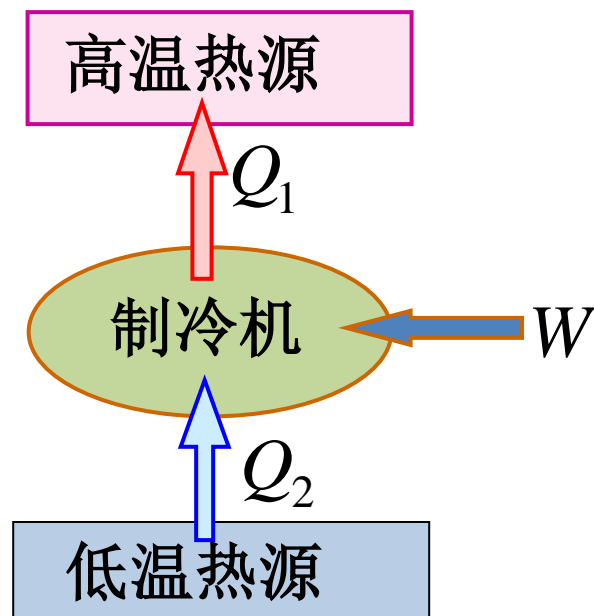
讨论： 单一过程能否使系统持续对外做功？



为了能够连续不断地对外做功，必须让系统做功后回到初始状态，形成一个循环过程。

3) 制冷机：工作在逆循环下的机器

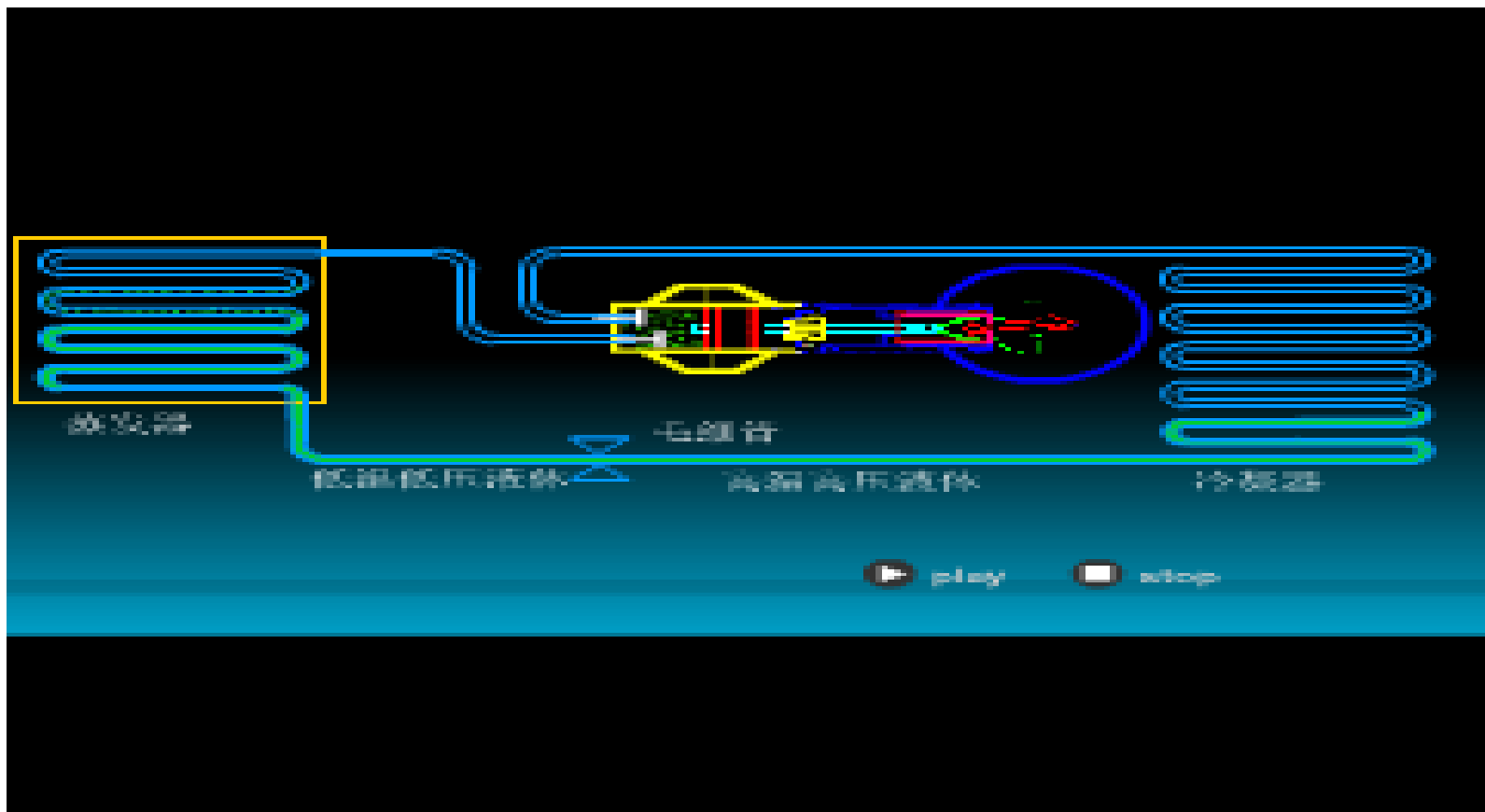
通过外界对系统做功，工质从低温热源吸收热量，向高温热源放出热量，使低源的温度更低，达到制冷的目的。



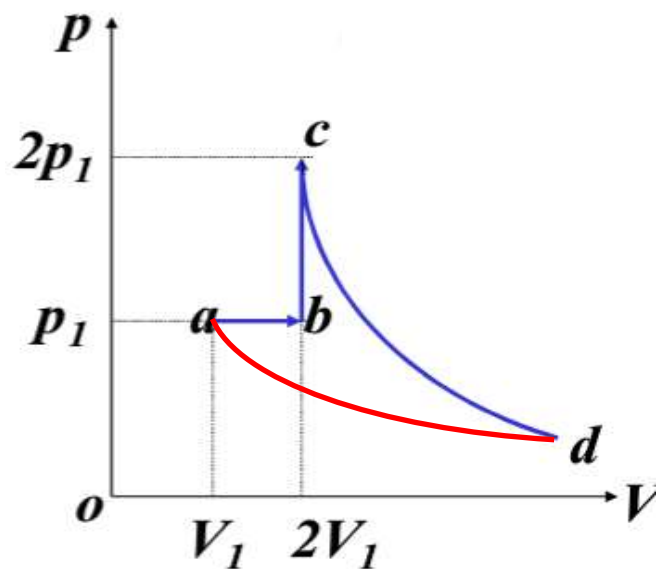
致冷机致冷系数

$$e = \frac{Q_2}{|W|} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

冰箱循环示意图

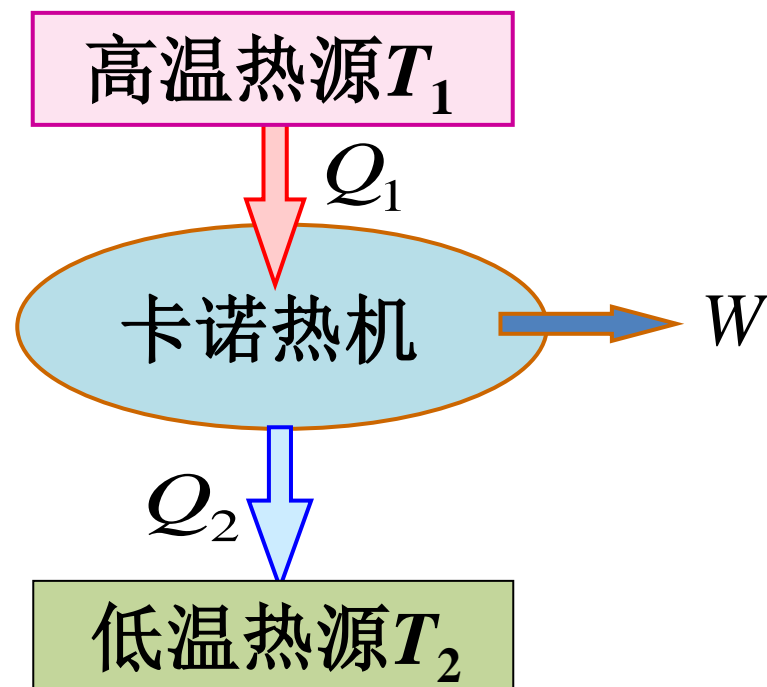
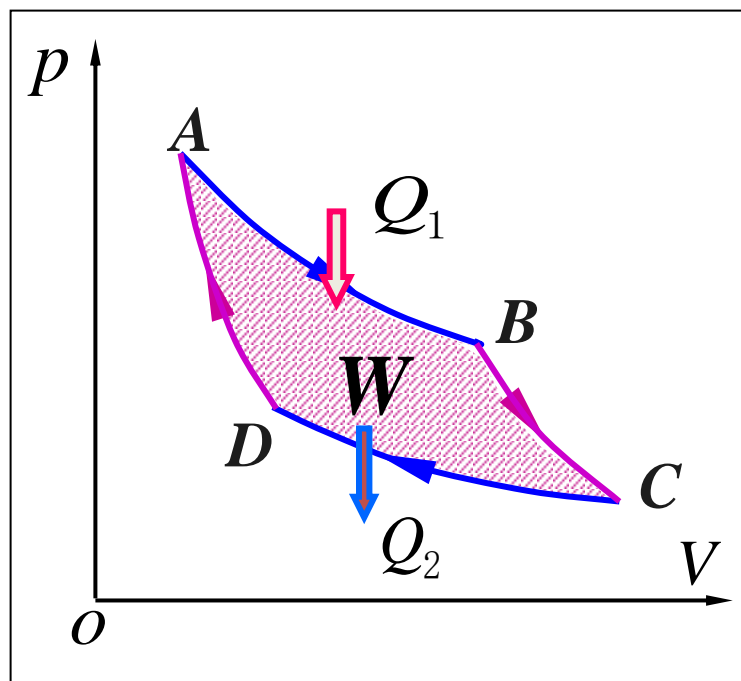


例2: 1mol单原子理想气体,由状态a(p_1, V_1),先等压加热至体积增大1倍至状态b,再等体加热至压强增大1倍至状态c,最后再经绝热膨胀至状态d,使其温度降至初始始温度,再经一等温过程回到状态a, 求: 1. 状态d的体积; 2. 整个过程中对外所做的功; 3.若用该循环过程制作成热机, 其热机效率.



二 卡诺循环

1. 卡诺循环：由两个准静态**等温**过程和两个准静态**绝热**过程组成的循环。



$A—B$ 等温膨胀； $B—C$ 绝热膨胀；
 $C—D$ 等温压缩； $D—A$ 绝热压缩

2. 理想气体卡诺循环热机效率

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

1→2 等温膨胀吸热

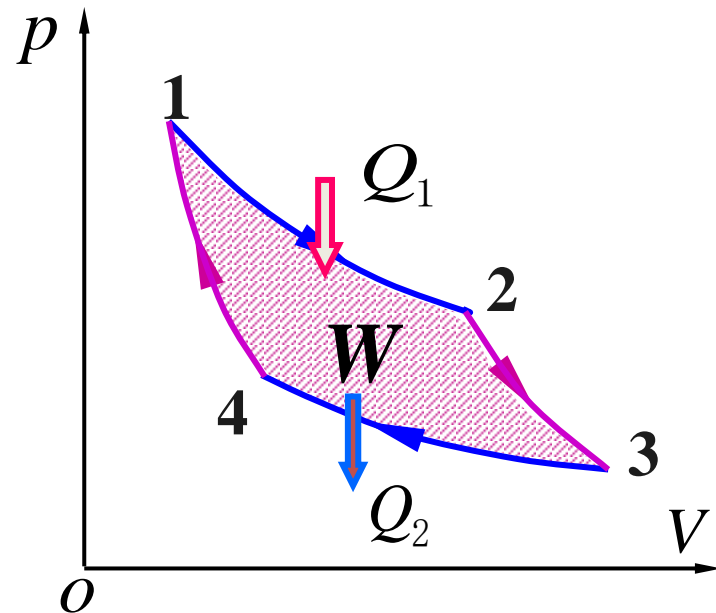
$$Q_1 = Q_{12} = \nu RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

3→4 等温压缩放热

$$Q_2 = |Q_{34}| = \nu RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

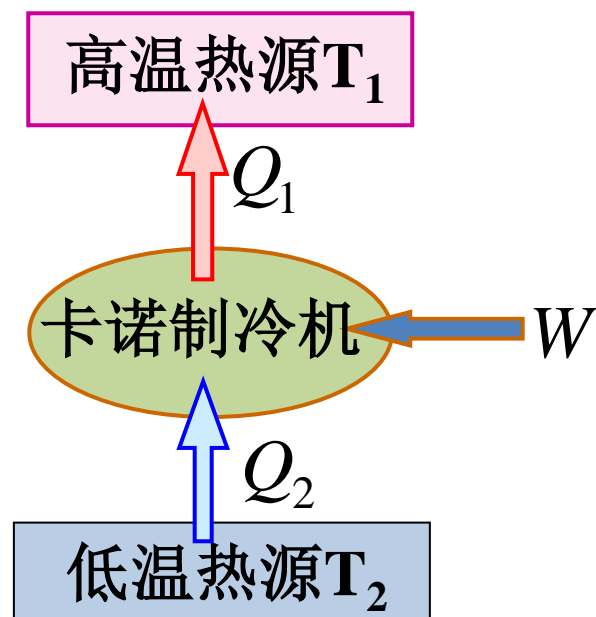
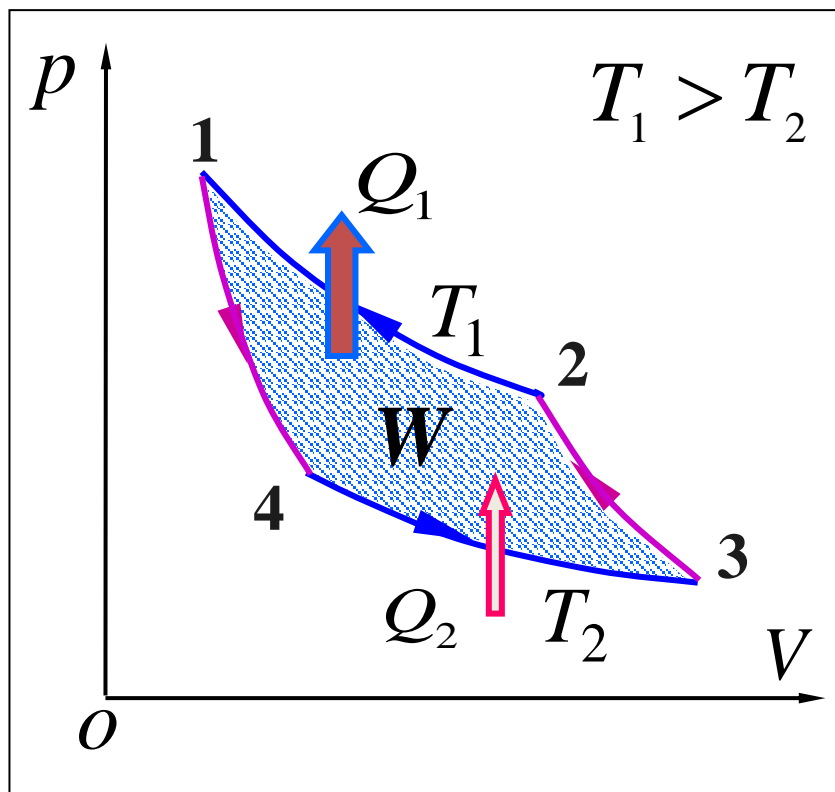
2→3 绝热膨胀 $T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$

4→1 绝热压缩 $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}$



◆ 卡诺热机效率 $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

3. 卡诺制冷机（卡诺逆循环）



卡诺致冷机致冷系数

$$e = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

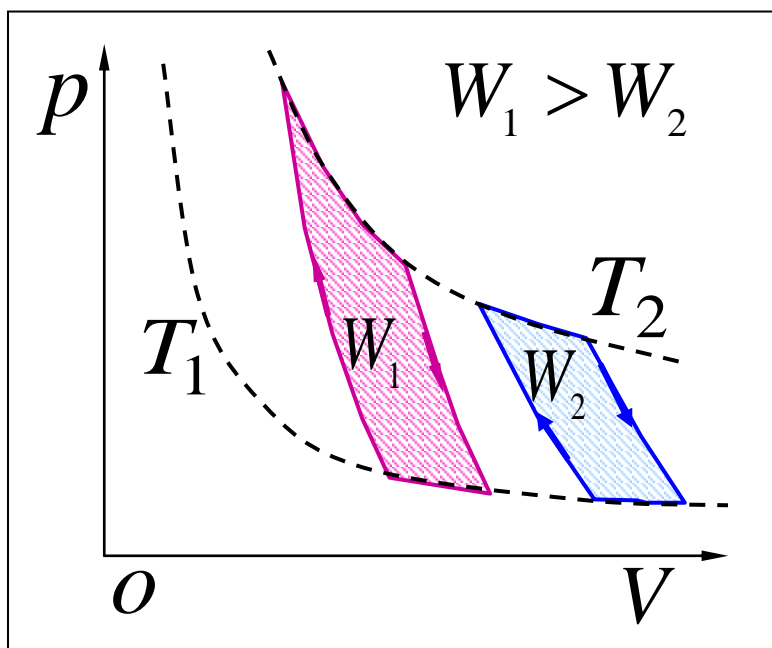
$$e = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

物理意义

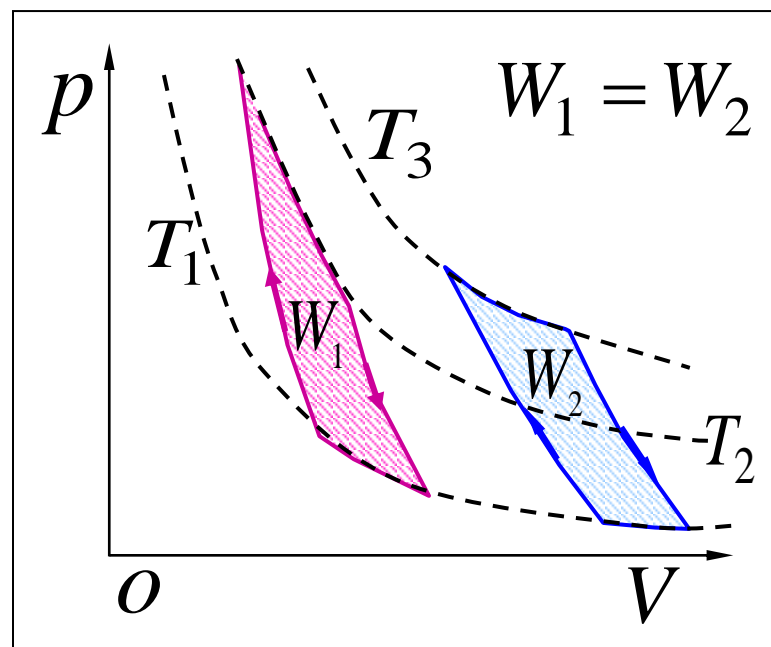
- 1) 卡诺热机效率与工作物质无关，只与两个热源的温度有关，两热源的温差越大，则卡诺循环的效率越高。为提高效率指明了方向(选工作物质不重要)。
- 2) T_2 越低， $T_1 - T_2$ 越高，都导致制冷系数下降，说明要得到更低的 T_2 ，需要消耗更多的功。

讨 论

图中两卡诺循环 $\eta_1 = \eta_2$ 吗？



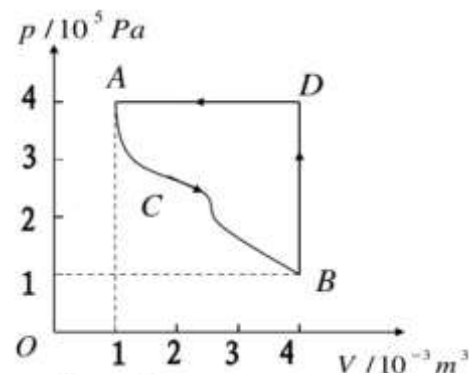
$$\eta_1 = \eta_2$$



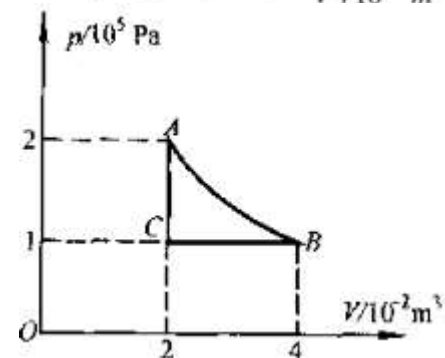
$$\eta_1 < \eta_2$$

今日作业：13-16； 13-19； 13-20； 13-27

13-16 如图所示，一定量的理想气体经历ACB过程吸热700J，则经历ACBDA过程时吸热又为多少？



13-19 如图所示，使1mol氧气(1)由A等温地变到B，(2)由A等体地变到C，再由C等压地变到B，试分别计算氧气所做的功和吸收的热量。



13-20 将压强为 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、体积为 $1.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ 的氢气，经绝热压缩使体积变为 $2.0 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ ，求压缩过程中气体所作的功。（氢气的摩尔热容比 $=1.41$ ）

13-27 如图所示是单原子理想气体循环过程的V-T图，图中 $V_C = 2V_A$ 试问：（1）图中所示循环是代表制冷机还是热机？（2）如果是正循环（热机循环），求出循环效率。

